

Сучасні уявлення про механізм зносу протекторних гум

Максим Балака¹, Дмитро Міщук², Дмитро Паламарчук³

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, 03037

¹balaka.mm@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4142-9703>,

²mischuk.do@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8263-9400>,

³palamarchuk.da@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8019-9659>

Received: 28.10.2021; Accepted: 01.12.2021

<https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.98.0302>

Анотація. Довговічність пневматичних шин для землерийно-транспортних машин характеризується здатністю зберігати працездатність до настання граничного стану при проведенні технічного обслуговування чи ремонту і визначається терміном служби до неприпустимого зносу рисунка протектора або до виходу з ладу шини внаслідок розриву каркаса, відшарування протектора та інших можливих пошкоджень.

Однак знос є більш складним процесом, ніж зовнішнє тертя, і представляє результат сукупного впливу фізико-хімічних і механічних процесів, що відбуваються у поверхневому шарі контактуючих тіл. Завдання попередження передчасного зносу шини є складним та пов'язане з вмінням визначити механізм зносу.

Встановлено, що за реальних умов експлуатації стирання протекторних гум відбувається за змішаним механізмом зносу. Сумарна інтенсивність зношування визначається співвідношенням окремих видів, але при зміні умов експлуатації показники зносу можуть суттєво змінюватися. Щодо пневматичних шин, які застосовуються на землерийно-транспортних машинах і працюють у надзвичайно важких та різноманітних умовах експлуатації на об'єктах дорожнього та меліоративного будівництва, реалізується механізм абразивного зносу.

Ключові слова: пневматична шина, протекторна гума, механізм зносу.

ВСТУП

Знос протекторних гум є складним процесом і, насамперед тому, що залежить від сукупності умов, які спричиняють його появу. В основу науки про тертя і знос твердих тіл покладено молекулярно-кінетичну теорію [1]. Це означає, що сила тертя двох

дотичних тіл виникає внаслідок їх взаємного проникнення та молекулярної взаємодії контактуючих поверхонь.

Загальні положення молекулярно-кінетичної теорії тертя твердих тіл в цілому залишаються справедливими і для тертя високоеластичних матеріалів (полімерів і еластомерів – гум), які мають в'язкопружні властивості [2–4].

У цей час серед фахівців в області трибоніки склалося уявлення про три механізми зносу гум, у тому числі і протекторних [3, 5, 6], що відповідають деяким ідеалізованим граничним режимам: абразивному, втомному, за допомогою «скочування».

МЕТА РОБОТИ

Проаналізувати існуючі дослідження зносу протектора пневматичних шин, що застосовуються на колісних землерийно-транспортних машинах.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Механізм *абразивного зносу* реалізується при терті гуми по шорстких поверхнях при відносно високому значенні коефіцієнта тертя. Характерним для механізму абразивного зносу є наявність паралельних смуг (подряпин) на стертії поверхні гум, напрям яких збігається з напрямом ковзання [7].

У цьому випадку знос обумовлений тим, що тверді грані контртіла виконують подряпування або мікрорізання поверхневого шару гуми.

Для встановлення закономірностей абразивного зносу гуми А. Шалламахом було поставлено модельні досліди, у яких одиничний виступ шорсткої поверхні контртіла імітувався тупою голкою [8]. Навантаження на голку вибиралася таким чином, щоб вона не проникала через поверхневий шар гуми, при цьому тангенціальна сила, що спричиняє переміщення голки поверхнею гуми, записувалася автоматично.

Під дією тангенціальної сили голка захоплювала певний об'єм гуми попереду. Ця частина гуми стискалася, а гума позаду голки розтягувалася. У певний момент часу, коли пружні сили, що намагаються повернути стислу гуму у початковий стан, ставали рівними силі тертя між голкою і гумою, відбувався перескок голки у нове положення. Якщо міцність гуми виявлялася меншою за сили тертя, то спостерігався надрив гуми і утворювався осередок роздирання.

Встановлено, що на м'якій гумі осередки роздирання глибші і розташовані на досить великій та приблизно рівній відстані один від одного. Зі збільшенням твердості гуми внаслідок зменшення пружних деформацій осередки роздирання зближуються, і це зближення відбувається до тих пір, поки не утворюється суцільна борозна. Переходячи від модельних дослідів до випробувань гум на абразивних поверхнях і припускаючи, що довжина осередку роздирання пропорційна ширині площі контакту, а об'єм стертої частини пропорційний третій степені довжини осередку роздирання, А. Шалламах отримав наступний вираз для визначення питомого об'ємного стирання:

$$i_V = n^2 \cdot d^3 = k \cdot n^2 \cdot r^3 \left(\frac{p}{E \cdot n^2 \cdot r^2} \right)^{3x}, \quad (1)$$

де n – кількість частинок в одиниці поверхні абразивної шкурки; d – діаметр площі контакту частинки абразиву з часткою; r – середній радіус кривизни вершини абразивної частинки; p – тиск; E – модуль пружності гуми; k , x – константи.

Пізніше було встановлено, що показник степені x дорівнює $1/3$. З огляду на це, вираз (1) можна значно спростити:

$$i_V = n^2 \cdot d^3 = k \left(\frac{p \cdot r}{E} \right)^{3x}. \quad (2)$$

Механічні властивості гум враховано у виразах (1) і (2) константою k , яка показує кількість проходів абразиву для відриву частинок гуми. Ця константа може бути прийнята для наближеної оцінки опору стиранню. З виразу (2) видно, що питоме об'ємне стирання прямо пропорційно тиску. Експериментально цей висновок був підтверджений А. Шалламахом при випробуваннях гум зі стирольного каучуку.

Під час тертя гуми по грубих твердих поверхнях без зміни напрямку руху часто спостерігається на поверхні зразка утворення паралельних гребенів, розташованих під прямим кутом до напрямку руху.

Вперше такі гребені спостерігав і описав А. Шалламах, і з того часу картину стертої поверхні з гребенями, які чергуються, називають «рисунком Шалламаха» або «рисунком стирання». Можливість утворення рисунків стирання впливає з модельних дослідів А. Шалламаха з голкою (рис. 1).

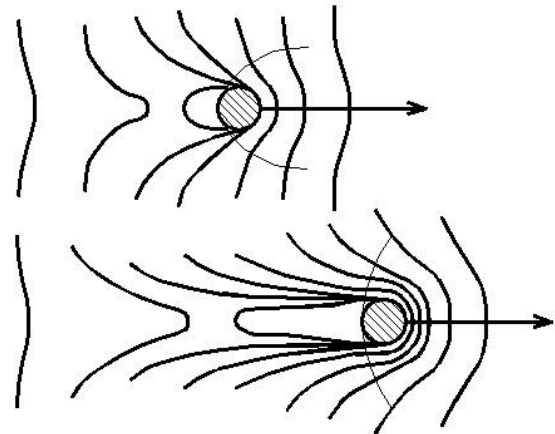


Рис. 1. Схема двох послідовних стадій деформації поверхні гуми під дією голки (заштрихований кружок – поперечний переріз голки)

Fig. 1. Diagram of two successive stages for the rubber surface deformation under the needle action (shaded circle is needle cross-section)

Криві спочатку зображувалися прямими лініями, нанесеними на поверхню гуми на рівній відстані один від одного під прямим кутом до напрямку руху. Спотворення цих ліній вказує на наявність напружень у гумі.

Хоч концентрація напружень попереду голки максимальна, розривів гуми не спостерігається внаслідок того, що сила тертя притискає гуму до поверхні голки. Роздирання відбувається в момент відриву гуми від голки, при цьому напрямок роздирання, який показано пунктиром на рис. 1, перпендикулярний напрямку максимального напруження. Після проходження голки внаслідок релаксації напруження біля розриву частина поверхні гуми зміщується, утворюючи канавки. Якби в процесі стирання приймав участь ряд паралельно розташованих голок, то на поверхні гуми утворювалася борозна, розташована перпендикулярно до напрямку руху. Тому цілком зрозуміло утворення борозн, поперечних напрямку руху під час стирання гуми на реальних абразивних поверхнях з великою кількістю зерен.

Отже, рисунок стирання інтенсивніший, коли грубіша поверхня контртіла і менша жорсткість гуми. Ще одна особливість рисунка стирання в тому, що з його появою збільшується інтенсивність стирання.

Пояснюється це тим, що під час руху по абразивній поверхні гребені рисунка стирання відгинаються назад, у результаті стирання піддається тільки нижня частина виступів, а інша частина поверхні виступів захищена від стирання. Внаслідок цього розвивається явище «підрізання» виступів. Виступи стають тоншими, і це відбувається до того моменту, поки їх гребені повністю не відірвуться, після чого на гумі залишаються тупі основи гребенів. Нові гребені продовжують виникати з шарів матеріалу і рисунок певною мірою відновлюється. Так спостереження рисунків стирання показує, що їх основна конфігурація зберігається в процесі тертя, хоча весь рисунок переміщається вздовж поверхні у напрямку руху.

Відстань між гребенями залежить від тиску, модуля пружності гуми та середнього радіуса кривизни вершини абразиву:

$$l = k \cdot \left(\frac{p \cdot r}{E} \right)^{1/3}. \quad (3)$$

Рівняння (3) досить добре узгоджується з результатами експериментальних дослід-

жень. Однак в окремих випадках інтервали між гребенями виявлялися більшими, ніж передбачалося розрахунком [7].

При дослідженні особливостей стирання гуми під час тертя відносно гладких поверхонь вдалося встановити новий, специфічний для високоеластичних матеріалів механізм стирання, названий *зносом за допомогою «скочування»* [9–11]. Цей механізм зносу реалізується при відносно високому значенні коефіцієнта тертя між гумою та поверхнею, що стирається.

Для виявлення особливостей механізму зносу за допомогою «скочування» доцільно розглянути взаємодію деякого виступу на поверхні гуми з поверхнею гладкого контртіла, що притиснене до виступу з нормальною силою N і паралельно переміщується до поверхні гуми зі швидкістю v (рис. 2). Якщо тертя між виступом гуми і поверхнею, що стирається, досить велике, тоді на першій стадії рух контртіла не призводить до ковзання в контакт, а викликає складну деформацію виступу. При подальшому переміщенні розвиток деформацій виступу може бути причиною зростання пружних сил, що перешкоджають цій деформації.

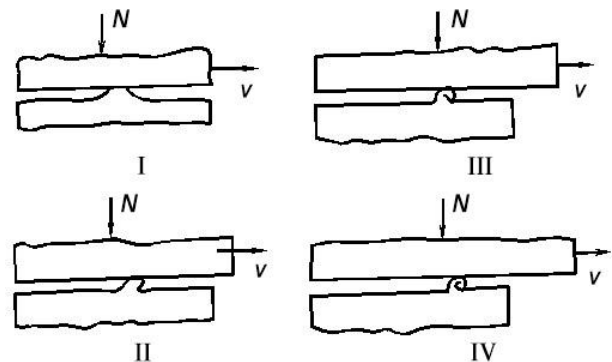


Рис. 2. Послідовні стадії I–IV утворення «скатки» при терті гуми по гладкому контртілі

Fig. 2. Serial stages I–IV of the «roll» formation when rubber friction on smooth opposite element

Ковзання починається тоді, коли тангенціальна складова пружних сил у контакті виявляється рівною силі тертя. Однак, якщо гума не має необхідної міцності, а сила тертя досить велика, то руйнування в зоні найбільших деформацій може наступити раніше, ніж почнеться ковзання в зоні контакту.

Ймовірний характер саме такого руйнування можна собі уявити, виходячи з того, що при складнонапруженому стані гуми руйнація починається зазвичай там, де поверхневі шари матеріалу більш розтягнуті.

Відомо також [7], що руйнування починається з появи тріщини, перпендикулярної до дії зусилля, що розтягує. Якщо тріщина вже виникла, її подальше зростання відбувається під дією відносно невеликого зусилля. Напрямок зростання тріщини складним чином залежить від характеру напруженого стану та від факторів, пов'язаних з наявністю мікронеоднорідностей у структурі матеріалу. Суттєвий вплив має також нерівномірний розподіл температури біля зони контакту. Зростання тріщин призводить до негайного відділення частинок гуми від поверхневого шару. Негайний відрив, що мало ймовірно, скоріш поступове роздирання гуми, при якому відбувається відносно переміщення в зоні контакту без ковзання. Такий рух можливий, якщо шар гуми, що відокремлюється при роздиранні, «скочується» (див. рис. 2, IV). Подальший рух контртіла відбувається вже в умовах тертя кочення, що супроводжується безперервним роздиранням гуми та згортанням «шматка» на «скатку», що утворилася.

Закочуваний «шматок» знаходиться в напруженому стані. Зусилля, що викликає його розтягнення, залежить від опору, який надається гумою роздиранню в місці відриву «шматка». Розтягування «шматка» на ділянці, де його розтяг виявляється критичним, призводить до відділення «скатки», що утворилася, і, таким чином, завершує розглянуту стадію фрикційного зносу.

Механізм зносу за допомогою «скокування» може відбуватися лише при певному поєднанні зовнішніх умов і властивостей гуми, що стирається. Очевидно, що подібний характер стирання вірогідніший для гум з малим опором роздирання. Оскільки міцнісні властивості гуми суттєво залежать від температури, то розігрів поверхневого шару за рахунок тертя в ковзному контакті може вплинути на процес зносу. Розігрів призводить до обсмолювання поверхневого шару гуми і появи клейкості, що різко підвищує ефективне тертя.

Картина зносу за допомогою «скокування» може бути проаналізована більш детально на основі наближено-кількісного аналізу для ідеалізованого випадку, виходячи з припущення, що всі контакти між гумою і контртілом (твердим та гладким) здійснюються через «скатки», а знос відбувається тільки за допомогою «скокування».

Зносостійкість характеризуватимемо показником β , що є відношенням потужності тертя N_{tr} до інтенсивності стирання J .

Потужність тертя дорівнює:

$$N_{tr} = N_{rozd} + N_{rozt} + N_{skat}, \quad (4)$$

де N_{rozd} – потужність, що витрачається на роздирання «шматка» від поверхневого шару гуми; N_{rozt} – потужність, що витрачається на розтягування «шматка»; N_{skat} – потужність на гістерезисні втрати, що супроводжують перекокування «скатки».

Основна умова, що визначає можливість утворення «скаток» та здійснення розглянутого механізму зносу, може бути представлена у вигляді:

$$N_{tr} \leq \mu N V_L, \quad (5)$$

де V_L – швидкість переміщення контртіла.

Використовуючи уявлення про характеристичну енергію роздирання та результати низки досліджень з оцінювання роботи, що розсіюється під час кочення гум по жорсткій опорній поверхні, отримано вираз для визначення зносостійкості [7]:

$$\beta = \frac{N_{tr}}{J} = \frac{H}{a} + \omega + 0,9 \frac{N^{4/3} (1-\xi)(\varepsilon+1)}{ab(E \cdot r_{skat} \cdot b)^{1/3}}, \quad (6)$$

де H – характеристична енергія розриву; ω – середнє значення питомої енергії розтягування; ξ – еластичність гуми за ГОСТ 6950-83; ε – відносне подовження; r_{skat} – радіус «скатки»; a , b – товщина і ширина відокремлюваного «шматка» гуми.

Незважаючи на те, що при виведенні залежності (6) зроблено ряд припущень, вона

показує наявність зв'язку між інтенсивністю зносу за допомогою «скочування» та пружно-релаксаційними і міцнісними властивостями гуми. Використовуючи залежність (6), встановлено критичні умови реалізації зносу у вигляді «скочування». Уявлення про механізм зносу гум за допомогою «скочування» експериментально підтверджені за допомогою приладу, в якому тертя гуми здійснювалося гладким плексигласом, причому явища, що протікають в зоні контакту, спостерігалися під мікроскопом. Було чітко виявлено утворення в процесі зносу характерних поперечних складок та борозен, що переходять у «скатки». Рисунок зносу, що утворюється, нічим не відрізняється від рисунків, які вперше спостерігалися А. Шалламахом. Однак вчений дав суттєво інше пояснення їхнього походження, вважаючи, що первинною причиною утворення поперечних складок є деформація гуми на виступах шорсткої поверхні.

Знос за допомогою «скочування» представляє особливий інтерес, оскільки цей механізм реалізується тільки для вискоеластичних матеріалів і, в принципі, не може спостерігатися при терті твердих тіл або «твердих» гум, що застосовуються для виготовлення протекторів шин.

Розглянуті нами два механізми зносу протекторних гум – абразивний і за допомогою «скочування» – є високоінтенсивними видами зносу. Якщо вони реалізуються, то шина виявляється недовговічною.

Характерним для пневматичних шин за певних умов є *втомний знос* протектора. Це найбільш поширений механізм зносу гум. Він здійснюється при відносно невеликій силі тертя між гумою і опорною поверхнею та невисоким контактним напруженням на нерівностях твердої поверхні. Руйнування поверхневого шару гуми в контакті відбувається в результаті багаторазових деформацій. Кількість циклів до руйнування є функцією втомної витривалості гуми та напруженого стану, що залежить від тиску, швидкості та геометрії поверхні [4]:

$$n = \left(\frac{f_z}{f_1} \right)^b, \quad (7)$$

де f_z – опір розриву; f_1 – амплітуда динамічного напруження; b – коефіцієнт витривалості.

Коефіцієнт b , що характеризує стійкість гуми до повторних навантажень, мало залежить від температури, концентрації напружень, частоти. Тому цим коефіцієнтом зручно користуватися для оцінювання втомних властивостей протекторних гум.

Зносом гуми є втомне руйнування її поверхневого шару в результаті багаторазово повторюваних деформацій стискання, розтягування та зсуву, обумовлених взаємодією гуми з шорсткою поверхнею твердого тіла, по якій відбувається проковзування. Якщо поверхня має однакові нерівності, що розташовані на однаковій відстані один від одного, то об'єм стирання пропорційний деформованому об'єму гуми, товщина шару, що зношується – глибині занурення виступів, амплітудне значення напруження – найбільшому тиску. А отже зносостійкість визначаємо за наступним виразом [7]:

$$\beta = k_1 \mu \left(\frac{f_z}{k_2} \right)^b E^{\frac{2(1-b)}{3}} \cdot p^{\frac{(1-b)}{3}} \left(\frac{1}{r} \right)^{\frac{(5-2b)}{3}}, \quad (8)$$

де k_1 , k_2 – безрозмірні константи, що не залежать, в цьому випадку, від умов випробувань і властивостей протекторних гум.

Рівняння (8) надає наближено-кількісну залежність між зносостійкістю і основними параметрами, які характеризують властивості пари тертя та умови випробування. При цьому властивості протекторної гуми визначаються її міцністю на розрив f_z , модулем пружності E , коефіцієнтом динамічної витривалості b та коефіцієнтом тертя μ . З параметрів, що характеризують умови випробування, до рівняння (8) входить тільки тиск повітря в шині p . Швидкість і температура можуть бути введені через відповідні залежності для міцнісних, пружних, втомних і фрикційних властивостей протекторних гум.

Незважаючи на наближеність, рівняння (8) дає можливість встановлювати раціональні режими роботи елементів тертя і виби-

рати протекторні гуми з оптимальним комплексом механічних властивостей, причому вхідні до нього величини мають ясний фізичний зміст і можуть бути визначені експериментальним шляхом. Залежність інтенсивності зносу протекторної гуми від її механічних властивостей може бути описана рівнянням [9], в якому враховані параметри шорсткості опорної поверхні, в тому числі і реальних дорожніх покриттів:

$$I = k \left(\frac{\mu \cdot E}{f_z} \right)^b \cdot \left(\frac{p}{E} \right)^{1+b\gamma}, \quad (9)$$

де γ – параметр шорсткості, $\gamma = 1/(2\nu + 1)$ (тут ν – показник ступеня у рівнянні кривої опорної поверхні); k – константа.

Для асфальто- і цементобетонних покриттів параметри шорсткості мають наступні середні значення: $\gamma = 0,14$; $\nu = 3,0$.

З рівнянь (8) і (9) випливає, що втомний знос протектора шин збільшується з підвищенням модуля пружності гуми, тиску, зменшенням опору розриву і погіршенням втомних властивостей гуми. При реалізації механізму втомного зносу гум на стертії поверхні не виявляється будь-який рисунок зносу. Теоретичні уявлення про втомний знос носять загальний характер і експериментально підтверджені при стиранні гум, пластмас, металів та інших матеріалів.

У свою чергу встановлено, що якість доріг та швидкості руху колісних землерийно-транспортних машин визначають реалізований у процесі експлуатації шин механізм зносу [12, 13]. В Україні дороги поділяються на п'ять категорій залежно від інтенсивності їх експлуатації та допустимих швидкостей руху згідно ДБН В.2.3-4:2015.

В міру погіршення якості доріг та зниження швидкості руху машин різко зростає лінійна інтенсивність зношування (механічні пошкодження протектора). Це вказує на те, що під час експлуатації на всіх дорогах, які перебувають у незадовільному стані, незалежно від їх категорії, починає переважати абразивний знос пневматичних шин.

Однак за реальних умов експлуатації машин стирання протекторних гум відбува-

ється за змішаним механізмом зносу, при якому сумарна інтенсивність зношування визначається співвідношенням окремих видів. При зміні умов експлуатації показники можуть суттєво змінюватися.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеного аналізу сучасних уявлень про механізм зносу протекторних гум і особливостей експлуатації самохідних колісних землерийно-транспортних машин на ґрунтових опорних поверхнях і дорогах, що перебувають у незадовільному стані, реалізується механізм абразивного зносу. Змінюється характер поверхні протектора шини – з'являються невеликі надрипи, поздовжні подрипини та порізи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 480 с.
2. Мур Д. Трение и смазка эластомеров / пер. с англ. Г. И. Бродского. М.: Химия, 1977. 262 с.
3. Мур Д. Основы и применение трибоники / пер. с англ. С. А. Харламова. М.: Мир, 1978. 487 с.
4. Барте́ньев Г. М., Зуев Ю. С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов. М.: Химия, 1984. 386 с.
5. Кнороз В. Н., Кленников Е. В. Шины и колеса. М.: Машиностроение, 1975. 184 с.
6. Потураев В. Н., Дырда В. И. Резиновые детали машин. М.: Машиностроение, 1977. 216 с.
7. Бродский Г. И., Евстратов В. Ф., Сахновский Н. Л., Слюди́ков Л. Д. Истирание резин. М.: Химия, 1975. 540 с.
8. Schallamach A. Recent Advances in Knowledge of Rubber Friction and Tire Wear. Rubber Chemistry and Technology. 1968. 41(1), pp. 209–244.
9. Марк Дж., Эрман Б., Эйрич Ф. Каучук и резина. Наука и технология: монография. Долгопрудный, 2011. 768 с.
10. Балака М. Н., Антонков М. А. Проявление различных видов износа при эксплуатации пневматических шин. Нефть и газ Западной Сибири: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 17–18 окт. 2013. Тюмень: ТюмГНГУ, 2013. Т. 4. С. 14–16.

11. **Резниковский Б. И., Лукомская А. И.** Механические испытания каучука и резины. М.: Химия, 1968. 499 с.
12. **The last mile** from every tire: How haul road maintenance can extend tire life. Perspectives on Modern Mining. 2007. Issue 1, pp. 2–5.
13. **Балака М. М.** Вплив умов експлуатації на довговічність великогабаритних шин. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2014. Вип. 65–66. С. 79–86.

REFERENCES

1. **Kragelskii I. V., Dobychin M. N., Kombalov V. S.** (1977). Osnovy raschetov na trenie i iznos [Friction and wear calculation fundamentals]. Moscow, 480 (*in Russian*).
2. **Mur D.** (1977). Trenie i smazka elastomerov [Friction and lubrication of elastomers]. Moscow, 262 (*in Russian*).
3. **Mur D.** (1978). Osnovy i primeneniye triboniki [Basics and application of tribonics]. Moscow, 487 (*in Russian*).
4. **Bartenev G. M., Zuev Iu. S.** (1984). Prochnost i razrusheniye vysokoelastichnykh materialov [Strength and destruction of highly elastic materials]. Moscow, 386 (*in Russian*).
5. **Knoroz V. N., Klennikov E. V.** (1975). Shiny i kolesa [Tires and wheels]. Moscow, 184 (*in Russian*).
6. **Poturaev V. N., Dyrda V. I.** (1977). Rezino- vye detali mashin [Rubber machine parts]. Moscow, 216 (*in Russian*).
7. **Brodskii G. I., Evstratov V. F., Sakhnovskii N. L., Sliudikov L. D.** (1975). Istiraniye rezin [Rubbers abrasion]. Moscow, 540 (*in Russian*).
8. **Schallamach A.** (1968). Recent Advances in Knowledge of Rubber Friction and Tire Wear. Rubber Chemistry and Technology. 41(1), 209–244.
9. **Mark Dzh., Erman B., Eirich F.** (2011). Kauchuk i rezina. Nauka i tekhnologiya [Rubber and gum. Science and technology: monograph]. Dolgoprudnyi, 768 (*in Russian*).
10. **Balaka M. N., Antonkov M. A.** (2013). Pro- iavleniye razlichnykh vidov iznosa pri eksplu- atatsii pnevmaticheskikh shin [Demonstration of various wear types in the pneumatic tires operation]. Neft i gaz Zapadnoi Sibiri [Oil and gas of Western Siberia]: abstract of the International scientific and technical conference, October 17–18. Tyumen. Vol. 4, 14–16 (*in Russian*).

11. **Reznikovskii B. I., Lukomskaia A. I.** (1968). Mekhanicheskie ispytaniia kauchuka i reziny [Mechanical testing of rubber and gum]. Mos- cow, 499 (*in Russian*).
12. **The last mile** from every tire: How haul road maintenance can extend tire life. Perspectives on Modern Mining. 2007. Issue 1, 2–5.
13. **Balaka M. M.** (2014). Vplyv umov eksplu- atatsii na dovgovichnist velykogabarytnykh shyn [Impact of operating conditions on the durabil- ity of large-size tires]. Bulletin of Kharkov Na- tional Automobile and Highway University. No. 65–66, 79–86 (*in Ukrainian*).

Modern understanding of the tread rubbers wear mechanism

Maksym Balaka¹, Dmytro Mishchuk²,
Dmytro Palamarchuk³

Kyiv National University of
Construction and Architecture

Abstract. The durability of pneumatic tires for earth-moving machines is characterized by ability to remain operational until the limit state occurs during maintenance or repair and is determined by lifetime until unacceptable wear of the tread pattern or tire failure due to rupture of the carcass, peeling of treads and other possible damage.

However, wear is a more complex process than external friction, and is the result of the physico-chemical and mechanical processes combined effect, which take place in the surface layer of contacting bodies. The task of preventing premature tire wear is complex and is associated with the ability to determine the wear mechanism.

It was found that the wear of tread rubbers occurs according to a mixed wear mechanism under real operating conditions. The total wear intensity is determined by the ratio of individual types, but wear indicators can modify significantly when operating conditions change. An abrasive wear mechanism is implemented applied to pneumatic tires, which use on earth-moving machines and work in the most difficult and varied operating conditions at road and land-reclamation construction objects.

Keywords: pneumatic tire, tread rubber, wear mechanism.